

# ВОЗМОЖНО ЛИ ЧАСТИЧНОЕ ПЕРЕМЕШИВАНИЕ В КОМПОНЕНТАХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМ?

**Е. И. Старицин**

*Уральский федеральный университет*

Данные об абсолютных элементах компонент двойных систем, находящихся на стадии горения водорода и относящихся к ранним спектральным подклассам В, проанализированы с привлечением моделей звезд, построенных с учетом частичного перемешивания вещества лучистой оболочки и конвективного ядра. Имеющиеся данные о массах, размерах и светимостях компонент двойных систем допускают возможность частичного перемешивания в их недрах аналогично перемешиванию в одиночных В-звездах главной последовательности таких же спектральных подклассов. Имеющихся данных недостаточно для того, чтобы наложить строгие ограничения на величину частичного перемешивания и выявить количественные различия в перемешивании у компонент двойных систем и одиночных звезд, если таковые имеются.

## IS THERE PARTIAL MIXING IN THE BINARY SYSTEM COMPONENTS?

**E. I. Staritsin**

*Ural Federal University*

The absolute elements of binary system components which are main sequence early type B-stars are analysed on the base of stellar models taking into account partial mixing of material in the radiative envelope and convective core. The data on masses, radii and luminosities of components, we have got by now, confirm the presence of partial mixing in the interiors of components. That data are not sufficient to put a restriction on the power of partial mixing and to find out a difference of partial mixing in the binary components and the single stars.

Одиночные В-звезды ранних спектральных подклассов показывают увеличение поверхностного содержания гелия к концу эволюции на главной последовательности [1, 2]. Причина такого увеличения может заключаться в частичном перемешивании вещества лучи-

стой оболочки и конвективного ядра при умеренном вращении звезды вследствие действия гидродинамических явлений переноса: сдвиговой турбулентности, полуконвекции и дополнительного перемешивания вещества в центральной части звезды (overshooting) [3, 4]. Перемешивание сопровождается дополнительным увеличением массы синтезированного гелия и светимости звезды на главной последовательности по сравнению со стандартным случаем эволюции.

Для анализа возможного влияния частичного перемешивания вещества на соотношение масса—светимость привлечены надежные данные о массах и светимостях компонент двойных систем с массами  $7 \leq M/M_{\odot} \leq 23$ , собранные в работе [5]. Линейные регрессии средних значений  $\lg R$  и  $\lg L$  по  $\lg M$  определены методом наименьших квадратов:

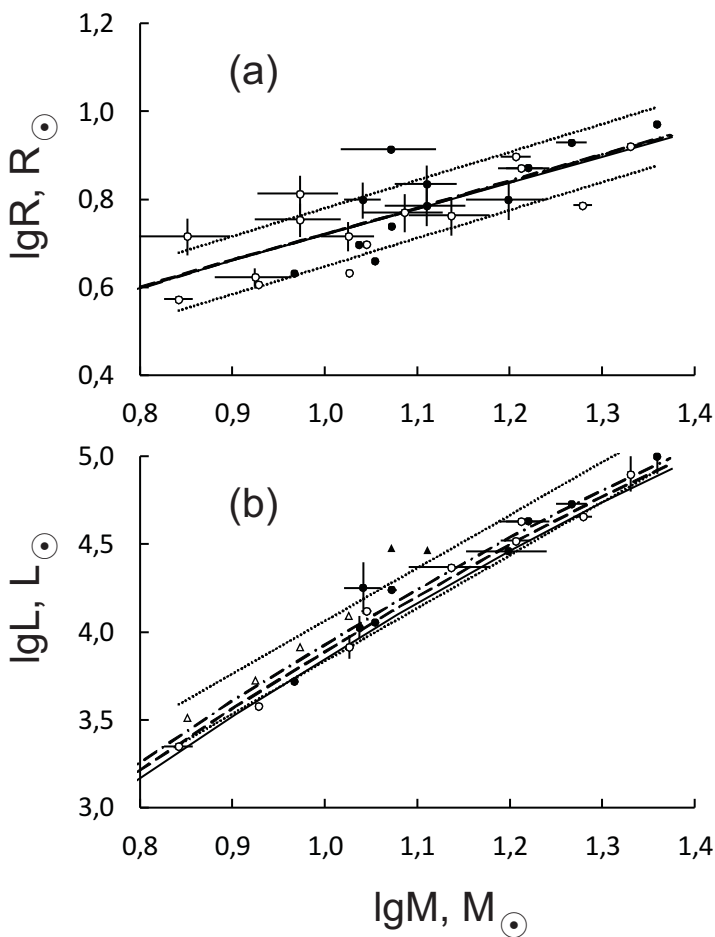
$$\lg R = (0.08 \pm 0.10) + (0.64 \pm 0.09) \lg M,$$

$$\lg L = (0.94 \pm 0.18) + (3.01 \pm 0.17) \lg M.$$

Стандартная ошибка оценки среднего значения  $\lg R$  составляет 0.07, для  $\lg L$  — 0.11.

Теоретическое соотношение масса—светимость построено на основе моделей звезд с массами 6, 8, 12, 16, 20 и 24  $M_{\odot}$ , рассчитанных с учетом модельного частичного перемешивания вещества лучистой оболочки и конвективного ядра. В качестве свободного параметра принято увеличение поверхностного отношения числа ядер гелия и водорода  $\Delta(N_{He}/N_H)$  к концу эволюции на главной последовательности. Рассчитано три системы эволюционных треков: при  $\Delta(N_{He}/N_H) = \{0, 40, 80\}$  %. Увеличение массы гелия, синтезированного за время эволюции на главной последовательности, при таких значениях параметра  $\Delta(N_{He}/N_H)$  соответствует значениям, полученным в [3, 4]. В каждой системе эволюционных треков определен относительный возраст  $t/t_{MS}$  каждого компонента по значениям его массы и радиуса,  $t$  — возраст компонента,  $t_{MS}$  — время жизни компонента на главной последовательности. Средний относительный возраст наблюдаемой выборки компонент составляет 0.40, 0.43 и 0.47 при  $\Delta(N_{He}/N_H)$ , равном соответственно 0, 40 и 80 %. Теоретические соотношения масса—светимость и масса—радиус определены в каждой системе эволюционных треков для соответствующего среднего относительного возраста выборки компонент.

Вследствие примененной методики теоретические соотношения масса—радиус удовлетворяют статистической зависимости при всех



Соотношения масса—радиус (а) и масса—светимость (б). Показаны массивные компоненты (заполненные значки) и спутники (открытые значки) двойных систем. Показаны отклонения вверх и вниз на величину одной стандартной ошибки от статистической оценки зависимости средних значений радиуса (а) и светимости (б) компонент от массы (пунктир), а также теоретические соотношения масса—радиус (а) и масса—светимость (б) для среднего относительного возраста выборки компонент двойных систем для вариантов эволюции без частичного перемешивания (сплошная линия) и когда увеличение поверхностного отношения числа ядер гелия и водорода к концу эволюции на главной последовательности  $\Delta(N_{He}/N_H)$  составляет 40 % (штрих) и 80 % (штрих-пунктир)

значениях  $\Delta(N_{He}/N_H)$  и практически совпадают друг с другом (см. рисунок). Теоретические соотношения масса—светимость зависят от величины массы гелия, дополнительно синтезированного на главной последовательности по сравнению со стандартным случаем эволюции. Однако отклонение теоретических соотношений от статистической оценки среднего значения светимости в зависимости от массы для наблюдаемой выборки компонент не превышает стандартной ошибки.

Таким образом, дополнительное увеличение светимости на главной последовательности, сопровождающее частичное перемешивание вещества лучистой оболочки и конвективного ядра, необходимое для объяснения наблюдаемого увеличения поверхностного содержания гелия у одиночных В-звезд к концу их эволюции на главной последовательности, не приводит к противоречиям с надежными данными о массах и светимостях звезд.

Имеющихся данных недостаточно, чтобы сделать выбор между вариантами эволюции компонент двойных систем с частичным перемешиванием вещества лучистой оболочки и конвективного ядра и стандартным на основе анализа соотношения масса—светимость.

Часть работ проведена при финансовой поддержке государства в лице Министерства образования и науки Российской Федерации (базовая часть госзадания, РК № АААА-А17-117030310283-7), а также при финансовой поддержке Правительства Российской Федерации (постановление № 211, контракт № 02.А03.21.0006).

## Библиографические ссылки

1. *Lyubimkov L. S., Rostopchin S. I., Lambert D. L.* Surface abundances of light elements for a large sample of early B-type stars. III. An analysis of helium lines in spectra of 102 stars // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2004. — Vol. 375. — P. 745.
2. *Huang W., Gies D. R.* Stellar rotation in young clusters. II. Evolution of stellar rotation and surface helium abundance // *Astrophys. J.* — 2006. — Vol. 648. — P. 591.
3. *Staritsin E. I.* Enhancement of surface helium abundance in intermediate-mass main-sequence stars // *Astron. Rep.* — 2014. — Vol. 58. — P. 808.
4. *Staritsin E. I.* Partial mixing in early-type main-sequence B stars // *Astron. Rep.* — 2017. — Vol. 61. — P. 450.
5. *Malkov O. Yu.* Mass-luminosity relation of intermediate-mass stars // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2007. — Vol. 382. — P. 1073.